

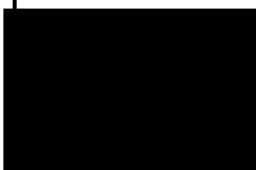



DECKBLATT

	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
	N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
EU 099.1	9K	3177.30		GB	RB	0005	00

Titel der Unterlage: Bestimmung felsmechanischer Gesteinsparameter	Seite: I.
	Stand: 11/86
Ersteller: TU - CLZ	Textnummer:

Stempelfeld:

PSP-Element TP. 9K/2122414		zu Plan-Kapitel: 3.1.9 .7	
		PL 11.02.87  Freigabe für Behörden	PL 11.02.87  Freigabe im Projekt

Diese Unterlage unterliegt samt Inhalt dem Schutz des Urheberrechts sowie der Pflicht zur vertraulichen Behandlung auch bei Beförderung und Vernichtung und darf vom Empfänger nur auftragbezogen genutzt, vervielfältigt und Dritten zugänglich gemacht werden. Eine andere Verwendung und Weitergabe bedarf der ausdrücklichen Zustimmung der PTB.

Revisionsblatt



EU 099.1	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
	N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
	9K	3177.30		GB	RB	0005	00

Titel der Unterlage: Bestimmung felsmechanischer Gesteinsparameter	Seite: II.
	Stand: 11/86

Rev.	Revisionsst. Datum	verant. Stelle	Gegenzeichn. Name	rev. Seite	Kat. *)	Erläuterung der Revision

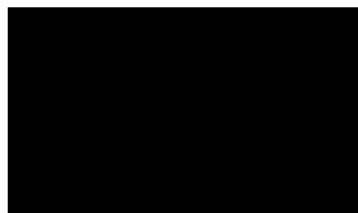
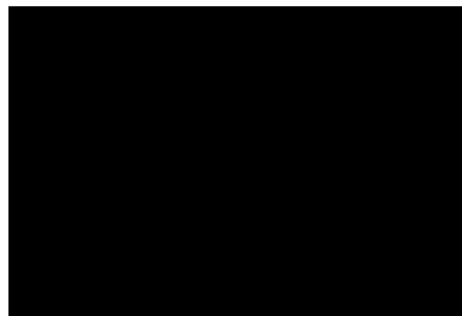
*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur
 Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung
 Kategorie S = substantielle Änderung
 Mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden.



Bestimmung felsmechanischer Gesteinsparameter

(Abschlußbericht zur PTB Bestellnummer 2404/6 9K 3177 AP 1)

Clausthal-Zellerfeld, im November 1986



Dieser Bericht wurde im Auftrag der PHYSIKALISCH TECHNISCHEN BUNDESANSTALT (PTB) erstellt. Die PTB behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf der Bericht nur mit Zustimmung der PTB zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt bzw. Dritten zugänglich gemacht werden. Er gibt die Meinung und Auffassung des Auftragnehmers wieder und muß nicht in jedem Fall mit der Meinung der PTB übereinstimmen.

Bestimmung der Gesamtdichte incl. Effektivporosität nach
der Tauchmethode

Grundsätzlich ist die Bestimmung der Effektivporosität an der Abteilung für Erdoelgeologie auf verschiedene Arten möglich.

Für diese Messungen wurde die Tauchmethode angewendet. Um die Verluste bei den Probentrocknungen so gering wie möglich zu halten, verlief diese in mehreren Abschnitten:

Zunächst wurden die Proben im Trockenschrank abgedeckt auf 55°C erwärmt, anschließend wurde die Luftfeuchtigkeit über einen Zeitraum von 14 Tagen langsam gesenkt. Erst nach 14 Tagen wurden die Proben im Feinvakuum bei 55°C 24 Stunden lang nachgetrocknet.

Die trockenen Proben wurden auf der Analysenwaage gewogen und anschließend ca. 6 Stunden evakuiert. Während des Evakuierens wurden die Proben durch Zugabe von Flüssigkeit getränkt und anschließend weitere 12 Stunden im Vakuum unter Flüssigkeit aufbewahrt. Als Tauchflüssigkeit diente Kerosen, weil das ungiftige und heute fast ausschließlich verwendete Isopropanol zur Probenzerstörung führen könnte. Nach der Tränkung konnte durch eine Tauchwiegung in Kerosen der Auftrieb der Probe sowie durch eine Naßwiegung die aufgenommene Flüssigkeitsmenge ermittelt werden.

Durch diese Daten berechnet sich die Effektivporosität nach der Formel:

$$\phi = \frac{M_{na\beta} - M_{tr}}{M_{na\beta} - M_{get}} \cdot 100$$

mit

ϕ = Effektivporosität

M_{tr} = Masse der trockenen Probe

$M_{na\beta}$ = Masse der getränkten Probe

M_{get} = Masse der in Flüssigkeit getauchten Probe

sowie die Feststoffdichte ρ_{Fest} (incl. Totporen)

$$V_{\text{Fest}} = \frac{M_{\text{tr}} - M_{\text{get}}}{\rho_{\text{Kerosen}}} \quad \text{und} \quad \rho_{\text{Fest}} = \frac{M_{\text{tr}}}{V_{\text{Fest}}}$$

und die Bulkdichte ρ_{Bulk}

$$V_{\text{Bulk}} = \frac{M_{\text{naß}} - M_{\text{get}}}{\rho_{\text{Kerosen}}} \quad \text{und} \quad \rho_{\text{Bulk}} = \frac{M_{\text{tr}}}{V_{\text{Bulk}}}$$

mit ρ_{Kerosen} = Dichte des Kerosens.

Unter Einhaltung einer ausreichenden Tränkungszeit sowie nach sorgfältiger Trocknung der Probe läßt sich die Porosität mit der Tauchmethode auf $\pm 0.5\%$ (absolut) genau bestimmen. (siehe auch C. SCHMID 1953).

Als Kontrolle dienten bei den hier vorliegenden Messungen die "Reserve-Prüfkörper":

Von einem Kernabschnitt wurde jeweils ein Teil in einem Meßgang, ein anderer Teil im darauf folgenden Meßgang gemessen. Zeigten sich hierbei Abweichungen in Porosität und Dichte, die nicht mit makroskopisch sichtbaren Unterschieden erklärt werden konnten, so wurde die Messung wiederholt.

Durch nachlassendes Vakuum stellte sich mit zunehmender Meßdauer ein systematischer Fehler ein.

Soweit sich die einzelnen Prüfkörper einer Probe nicht unterscheiden, lag die Genauigkeit der Messungen bei $\pm 0.6\%$ (absolut).

Weitere Fehlerquellen waren nicht feststellbar.

Untersuchungen

Rohdichte

Die Rohdichte der Prüfkörper wurde durch Ausmessen und Wägen ermittelt. Die Längenabmessungen wurden auf ca. 0,1mm genau bestimmt und daraus das Volumen V_R berechnet, die Masse m wurde auf ca. 0,1% genau bestimmt. Die Rohdichte wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$\rho = \frac{m}{V_R}$$

und in g/cm^3 angegeben.

Dynamischer Elastizitätsmodul

Der Elastizitätsmodul wurde dynamisch nach dem Impulsdurchschallungsverfahren bestimmt, d.h. aus der ermittelten Schallgeschwindigkeit im Probenkörper wird der E-Modul nach folgenden Gleichungen berechnet:

$$E_{\text{dyn}} = \frac{c_L^2 \times \rho}{1000 \times k^2} \quad \text{mit} \quad k^2 = \frac{1-\mu}{(1+\mu)(1-2\mu)}$$

$$G_{\text{dyn}} = \frac{c_L^2 \times \rho}{1000}$$

$$\mu = \frac{c_L^2 - c_T^2}{c_L^2 - c_T^2}$$

Erläuterung siehe nächste Seite.

Hierbei bedeutet:

- E_{dyn} = dynamischer E-Modul in N/mm^2
- G_{dyn} = dynamischer G-Modul in N/mm^2
- c_L = longitudinale Schallgeschwindigkeit in m/s
- c_T = transversale Schallgeschwindigkeit in m/s
- μ = Querkontraktionszahl
- k^2 = Korrekturfaktor zur Erfassung der unterdrückten Querkontraktionszahl
- ρ = Rohdichte in g/cm^3

Das Prüfverfahren

Beim Durchschallungsverfahren wird auf einer Seite des Prüfkörpers kontinuierlich Ultraschall eingeschallt und auf der gegenüberliegenden Seite durch den Empfänger aufgenommen. Liegt im Prüfkörper ein Fehler vor, so werden die Ultraschallwellen ganz oder teilweise reflektiert. Die Intensität der am Empfänger ankommenden Impulse nimmt je nach Feldgröße ab.

Zur Anwendung kamen zwei Prüfköpfe mit den Bezeichnungen MB 2 Y (2 MHz) und CLF 2 (350 KHz).

Der Sender besaß eine Abschallfrequenz von 2 MHz (bzw. 350 KHz beim Eigenbau) und der Empfänger von 1 MHz.

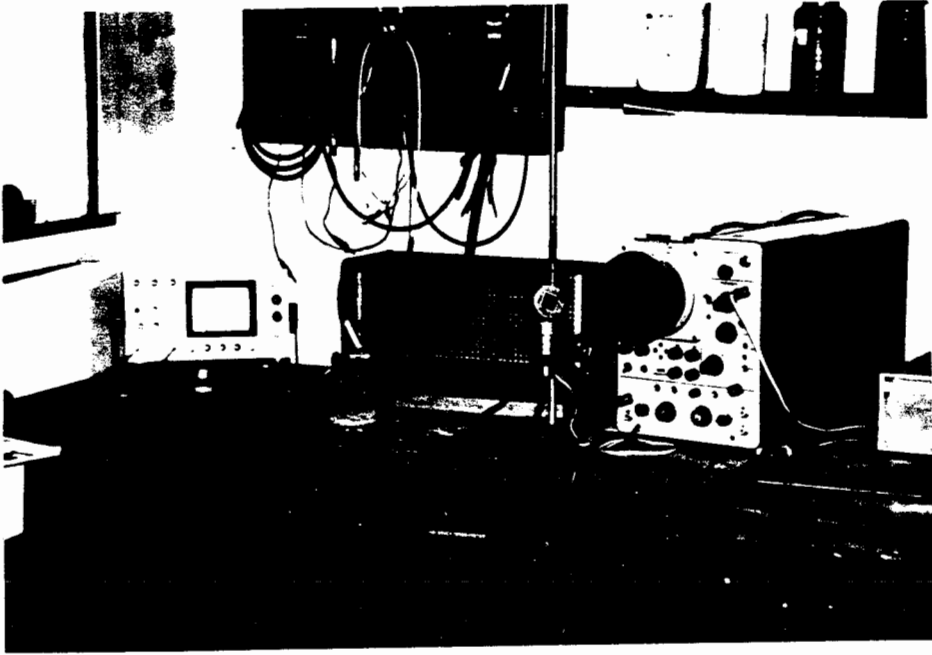
Dieser Sachverhalt wirkte sich jedoch nicht negativ auf die Versuchsdurchführung aus.

Die Ankopplung der Prüfköpfe an die Prüfkörper

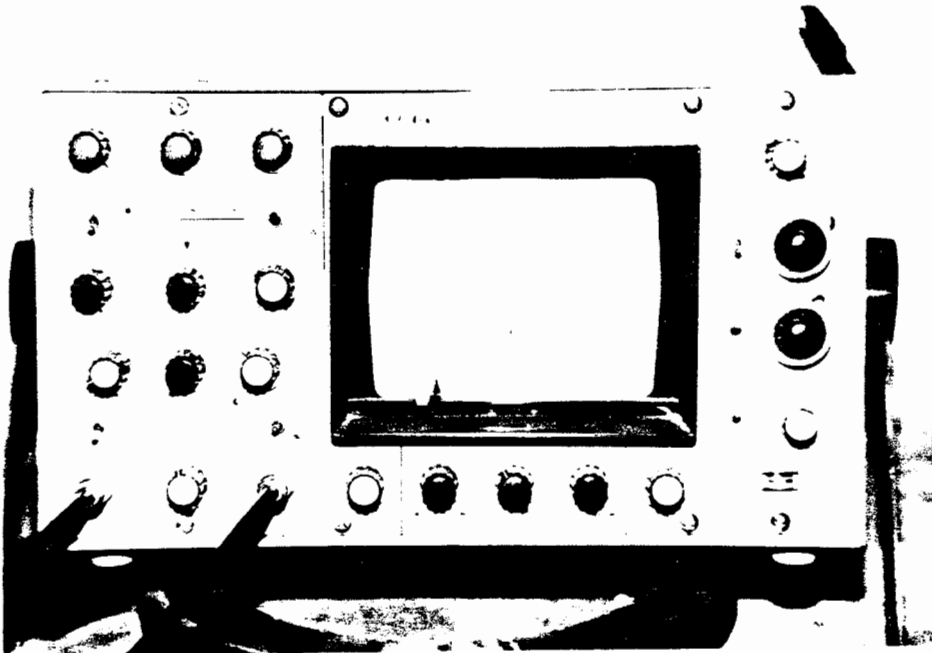
Die üblichen flüssigen oder pastenartigen Ankopplungsmedien der Prüfköpfe konnten bei diesem Versuchsaufbau an den Prüfkörpern nicht angewendet werden. Die flüssigen Ankopplungsmedien hätten die zu prüfenden Körper zu stark kontaminiert und für weitere Untersuchungsaufgaben wertlos gemacht.

Aus diesem Grunde wurde auf das trockene Ankopplungsmedium eines beidseitig klebenden Klebandes zurückgegriffen.

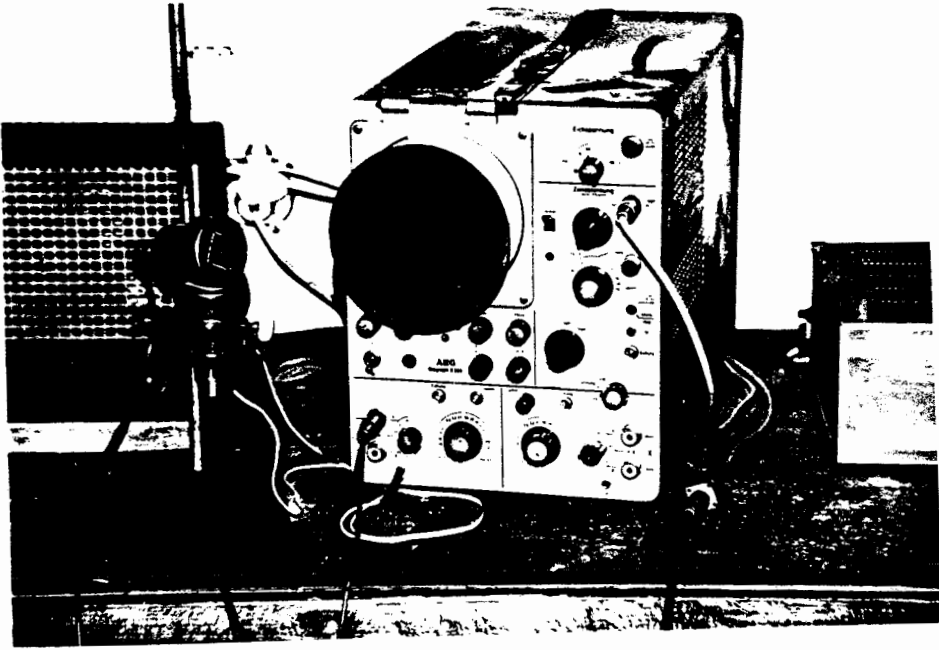
Die Sende- und der Empfangsprüfkopf wurden mit dem Klebeband an den Prüfkörper angekoppelt und mit Hilfe einer Schraubzwinde wurde die nötige Ankoppelungskraft erzeugt.



Krautkrämer USIP 11 & Eigenbau



Krautkrämer USIP 11



Eigenbau

Nr.	Probe		poros. (%)	bulkd. (g/ccm)	kornd. (g/ccm)
1.	Ko 1/2	9.20 - 9.30	6.17	2.48	2.65
2.	Ko 1/2	13.35 - 13.45	4.31	2.53	2.64
3.	Ko 1/2	13.46 - 13.56	8.47	2.51	2.74
4.	Ko 1/2	13.57 - 13.68	9.84	2.50	2.78
5.	Ko 2/6	4.05 - 4.15	7.11	2.53	2.73
6.	Ko 2/6	4.16 - 4.26	9.47	2.51	2.77
7.	Ko 2/6	4.27 - 4.37	4.12	2.57	2.68
8.	Ko 2/6	21.10 - 22.00	10.07	2.49	2.77
9.	Ko 2/6	22.12 - 22.22	8.56	2.46	2.70
10.	Ko 2/6	51.30 - 51.40	21.28	2.34	2.98
11.	Ko 2/6	51.41 - 51.51	17.75	2.37	2.88
12.	Ko 2/6	51.90 - 52.00	15.81	2.40	2.86
13.	Ko 6/12	2.75 - 2.85	1.92	2.63	2.68
14.	Ko 6/12	2.86 - 2.96	3.52	2.61	2.71
15.	Ko 6/12	2.97 - 3.07	5.20	2.58	2.72
16.	Ko 6/12	4.30 - 4.40	4.20	2.60	2.71
17.	Ko 6/12	4.41 - 4.51	8.16	2.56	2.78
18.	Ko 6/13	5.30 - 5.40	1.58	2.64	2.68
19.	Ko 6/13	5.41 - 5.51	1.50	2.64	2.68
20.	Ko 6/13	5.52 - 5.62	2.69	2.62	2.69
21.	Ko 6/13	5.63 - 5.73	6.67	2.55	2.73
22.	Ko 6/13	15.20 - 15.30	1.11	2.62	2.65
23.	Ko 6/13	19.99 - 20.09	11.39	2.29	2.58
24.	4/110	90.65 - 90.75	1.71	2.60	2.65
25.	4/110	90.76 - 90.86	1.20	2.61	2.64
26.	4/110	90.87 - 90.97	5.82	2.51	2.67
27.	4/110	91.10 - 91.20	1.58	2.61	2.65

Nr.	Probe	poros. (%)	bulkd. (g/ccm)	kornd. (g/ccm)
28.	4/110 91.21 - 91.31	1.64	2.60	2.65
29.	4/110 107.74 -107.84	3.44	2.56	2.65
30.	4/110 107.85 -107.95	3.42	2.55	2.64
31.	4/110 107.96 -108.06	3.93	2.55	2.66
32.	4/110 108.35 -108.45	4.29	2.61	2.73
33.	4/110 108.46 -108.56	2.02	2.65	2.70

Nr.	Bohrung	Teufe [m]	σ_3 [MPa]	σ_{3R} [MPa]	$\dot{\epsilon}$ [sec ⁻¹]	L / \emptyset
1.	Ko 1- 2	9.20 - 9.30	7.5	7.5/5.0/2.5	1x10 ⁻³	104.4 / 50.2
2.	"	13.35 - 13.45	2.5	2.5	" o.k.	104.1 / 50.0
3.	"	13.46 - 13.56	7.5	7.5/5.0	" o.k.	104.3 / 49.9
4.	"	13.57 - 13.68	15.0	15.0/7.5/2.5	" o.k.	104.3 / 49.9
5.	Ko 2- 6	4.05 - 4.15	2.5	2.5	" -0.1	104.1 / 47.1
6.	"	4.16 - 4.26	7.5	7.5/5.0/2.5	" o.k.	104.1 / 47.2
7.	"	4.27 - 4.37	15.0	15.0/7.5/2.5	" o.k.	104.0 / 47.1
8.	"	21.90 - 22.00	2.5	2.5	" -0.1	104.1 / 48.2
9.	"	22.12 - 22.22	15.0	15.0/7.5/2.5	" -0.1	104.1 / 46.2
10.	"	51.30 - 51.40	2.5	2.5	" o.k.	104.2 / 47.2
11.	"	51.41 - 51.51	7.5	7.5/5.0/2.5	" o.k.	104.3 / 47.1
12.	"	51.90 - 52.00	15.0	usw.	" o.k.	104.3 / 48.1
13.	Ko 6-12	2.75 - 2.85	2.5	:	" -0.1	104.1 / 48.2
14.	"	2.86 - 2.96	7.5	:	" o.k.	104.2 / 47.1
15.	"	2.97 - 3.07	15.0	:	" o.k.	104.3 / 46.2
16.	"	4.30 - 4.40	2.5	:	" -0.1	104.2 / 47.2
17.	"	4.41 - 4.51	15.0	:	" o.k.	104.0 / 46.1

Nr.	Bohrung	Teufe [m]	σ_3 [MPa]	σ_{3R} [MPa]	$\dot{\epsilon}$ [sec ⁻¹]	L / Ø
18.	Ko 6-13	5.30 - 5.40	2.5	:	" o.k.	103.9 / 47.1
19.	"	5.41 - 5.51	7.5	:	" o.k.	104.0 / 47.0
20.	"	5.52 - 5.62	15.0	:	" o.k.	104.0 / 47.1
21.	"	5.63 - 5.73	25.0	:	" -0.1	104.0 / 47.0
22.	"	15.20 - 15.30	2.5	:	" o.k.	104.1 / 46.1
23.	"	19.99 - 20.09	15.0	:	"	104.0 / 47.1
24.	4/110	90.65 - 90.75	2.5	:	" -0.1	104.2 / 48.0
25.	"	90.76 - 90.86	7.5	:	" o.k.	104.3 / 48.1
26.	"	90.87 - 90.97	15.0	:	" -0.2	104.0 / 48.1
27.	"	91.10 - 91.20	25.0	25.0/10.0/5.0	" o.k.	103.9 / 48.1
28.	"	91.21 - 91.31	5.0	5.0/2.5	" o.k.	104.1 / 48.0
29.	"	107.74 - 107.84	2.5	usw.	" o.k.	104.0 / 48.1
30.	"	107.85 - 107.95	7.5	:	" o.k.	104.0 / 48.1
31.	"	107.96 - 108.06	15.0	:	" o.k.	104.2 / 47.0
32.	"	108.35 - 108.45	25.0	:	" o.k.	104.0 / 47.0
33.	"	108.46 - 108.56	5.0	:	" o.k.	104.0 / 47.1

Bemerk.	Bemerkungen zur Probe bzw. zum Meßvorgang	
μ	Poissonzahl bzw. Querkontraktionszahl (dimensionslos)	
G	dynamischer G-Modul (Schubmodul) in N/mm ²	
E	dynamischer E-Modul (Elektrizitätsmodul) in N/mm ²	
ρ	Rohdichte in g/cm ³	
c_T	transversale Schallgeschwindigkeit in m/s	
c_L	longitudinale Schallgeschwindigkeit in m/s	
t_L	gemittelter Wert aus t_L Krautkrämer und t_L Eigenbau	
t_L	Laufzeit ermittelt mit Eigenbau (f = 350 KHz)	longitudinal
t_T	Laufzeit ermittelt mit Krautkrämer USIP 11 (f = 2 MHz)	transversal
t_L	Laufzeit ermittelt mit Krautkrämer USIP 11 (f = 2 MHz)	longitudinal
m	Masse des Prüfkörpers in g	
l	Länge des Prüfkörpers in mm	
\varnothing	Durchmesser des Prüfkörpers in mm	

MESSPROTOKOLL

zur Bestimmung der dynamischen Kennwerte E_{dyn} und G_{dyn}

\emptyset	l	m	t_L	t_T	t_L	t_L	c_L	c_T	E	G	μ	Bemerk.		
1	50	104	527,5	---	---	~39	~39	~2667	---	2,583	15310*	---	---	
2	50	104	535,7	---	~42	25	24,5	4245	~2476	2,623	39950	16081	0,242	
3	50	104	536,0	---	~41,5	26	25,5	4078	~2506	2,625	39453	16485	0,197	
4	50	104	536,6	---	~42	~27	~27	3852	~2476	2,628	36990	16111	0,148	
5	47	104	473,0	---	39,5	24,5	24	4333	2633	2,621	43874	18171	0,207	
6	47	104	472,5	---	~41	26	25,5	4078	~2537	2,619	39927	16857	0,184	Lage
7	47	104	473,1	~20,5	35,5	21	20,5	5073	2958	2,622	57008	22942	0,242	
8	48	104	486,8	---	---	~40	~40	2600	---	2,587	14573*	---	---	
9	46	104	442,5	---	---	~45	~45	2311	---	2,560	11394*	---	---	schlecht

E-Modul berechnet mit $\mu = 0,25$

$K^2 = 1,2$

MESSPROTOKOLL

zur Bestimmung der dynamischen Kennwerte E_{dyn} und G_{dyn}

	\emptyset	l	m	t_L	t_T	t_L	t_L	c_L	c_T	E	G	μ	Bemerk.
10	47	104	454,6	---	---	46	46	2261	---	2,519	10371*	---	---
11	47	104	451,5	---	---	~46	~46	2261	---	2,502	10659*	---	---
12	48	104	486,3	---	---	~43	~43	2419	---	2,584	12600*	---	---
13	48	104	501,6	20,5	33,8	21,5	21	4952	3077	2,665	59827	25232	0,186
14	47	104	482,3	---	35,4	23	22,5	4622	2938	2,673	53575	23073	0,161
15	46	104	459,6	21,6	34,9	23	22	4727	2980	2,659	55265	23613	0,170
16	47	104	479,8	22,4	35,5	23	22,5	4622	2930	2,659	53145	22827	0,164
17	46	104	459,4	22,4	36,5	23	22,5	4622	2849	2,658	51503	21574	0,194
18	47	104	483,9	~20	35,3	21,5	21	4952	2946	2,682	57080	23277	0,226
19	47	104	485,2	20,7	35,5	21,5	31	4952	2930	2,689	56819	23085	0,231
20	47	104	485,0	20,2	35	21	20,5	5073	2971	2,688	58794	23727	0,239
21	47	104	484,8	20	35	21	20,5	5073	2971	2,687	58772	23718	0,239

- 14 -

* E-Modul berechnet mit $\mu = 0,25$
 $K^2 = 1,2$

M E S S P R O T O K O L L
zur Bestimmung der dynamischen Kennwerte E_{dyn} und G_{dyn}

\emptyset	l	m	t_L	t_T	t_L	t_L	C_L	C_T	E	G	μ	Bemerk.	
22	46	104	464,3	19,6	32,4	21	20,5	5073	3210	2,686	64549	27677	0,166
23	47	104	437,3	22,5	35	23	22,5	4622	2971	2,424	49123	21396	0,148
24	48	104	498,7	---	37	22	21,5	4837	2811	2,650	52140	20940	0,245
25	48	104	499,9	---	39	23	22,5	4622	2667	2,656	47246	18892	0,250
26	48	104	491,9	20	35	21	20,5	5073	2971	2,614	57175	23073	0,239
27	48	104	495,9	---	---	~40	40	2600	---	2,635	14844*	---	---
28	48	104	498,9	---	36,2	23	22,5	4622	2873	2,651	51867	21882	0,185
29	48	104	492,2	---	39	23,5	23	4522	2667	2,615	45880	18600	0,233
30	48	104	492,1	22,5	39,5	23,5	23	4522	2633	2,615	45088	18129	0,244
31	47	104	471,6	21,7	38	22,5	22	4727	2737	2,614	48870	19582	0,248
32	47	104	487,2	---	---	31	30,5	3410	---	2,700	26163*	---	---
33	47	104	486,3	---	---	32,5	32	3250	---	2,695	23722*	---	---

* E-Modul berechnet mit $\mu = 0,25$
 $K^2 = 1,2$